

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(10)

(11)Publication number : 07-236923

(43)Date of publication of application : 12.09.1995

(51)Int.Cl.

B21D 22/20
// G06F 17/00

(21)Application number : 06-054958

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 28.02.1994

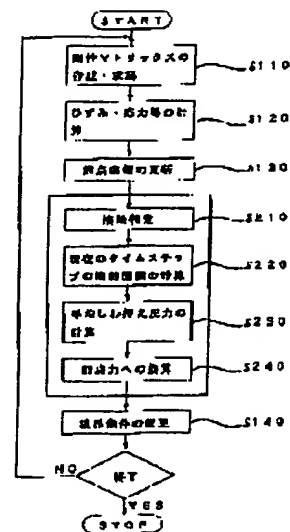
(72)Inventor : NAGAI SHIGEHARU
OKAZAKI YASUTAKA

(54) SIMULATION METHOD FOR FORMING PLATE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a simulation method for forming a plate, in which a die holding force can be taken into consideration through a simple calculation, in a finite-element analysis for a plate forming.

CONSTITUTION: In a present time step, a contact discrimination is carried out between a base material 1 and a wrinkle holding die 4 by S210; a die holding pressure is determined from the contact area obtained in the conditions of the contact discrimination and from a specific wrinkle holding force by S215; a nodal contact force imparting to each contact nodal point is determined by S240; and a finite element analysis is performed by using these results as boundary conditions in the following time step.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-236923

(43) 公開日 平成7年(1995)9月12日

(51) Int.Cl.⁶

B 2 1 D 22/20

// G 0 6 F 17/00

識別記号

庁内整理番号

Z 9346-4E

8724-5L

F I

G 0 6 F 15/ 20

技術表示箇所

D

審査請求 未請求 請求項の数 6 F D (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平6-54958

(22) 出願日 平成6年(1994)2月28日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 永井 重治

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機

株式会社生産技術研究所内

(72) 発明者 岡崎 康隆

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機

株式会社生産技術研究所内

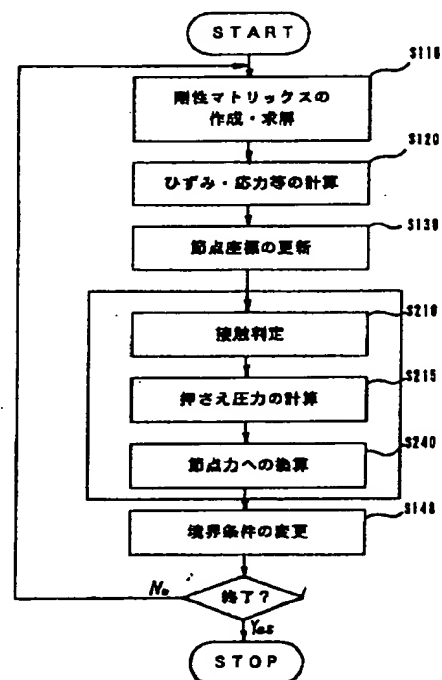
(74) 代理人 弁理士 村上 博 (外1名)

(54) 【発明の名称】 板成形シミュレーション方法

(57) 【要約】

【目的】 板成形の有限要素法解析において、簡単な計算により、金型押え力を考慮できる板成形シミュレーション方法を得る。

【構成】 現在のタイムステップにおいて、S210により素材1としわ押え金型4との接触判定を行い、S215により接触判定条件から求めた接触面積と所定のしわ押え力とから金型押え圧力を計算し、S240により各接触節点に与える節点力を求め、それらを次のタイムステップでの境界条件として用いて有限要素法解析を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 板成形を有限要素法解析によりシミュレートする方法において、金型と各素材表面節点との接触の有無を判定するステップと、上記判定結果により金型と素材との接触領域を求め、この接触領域に加わる金型押え圧力を算出するステップと、上記金型押え圧力を金型と接触している各素材表面節点における節点力に換算するステップを有し、上記節点力を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする板成形シミュレーション方法。

【請求項2】 板成形を有限要素法解析によりシミュレートする方法において、金型と各素材表面節点(i)との接触の有無を、各節点(i)が金型から所定の距離 D_0 内に存在するか否かにより判定するステップと、上記判定結果により金型と素材との全接触面積 S を求め、この接触面積 S と所定の押え力 F_0 とから平均押え圧力($P_e = F_0/S$)を計算するステップと、上記平均押え圧力 P_e を金型と接触している各素材表面節点(i)で代表される接触面積 S_i を用いて節点力($G_i = P_e \times S_i$)に換算するステップを有し、上記節点力 G_i を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする板成形シミュレーション方法。

【請求項3】 板成形を有限要素法解析によりシミュレートする方法において、金型と各素材表面節点(i)との接触の有無を、各節点(i)が金型から所定の距離 D_0 内に存在するか否かにより判定するステップと、金型と接触していると判定した各素材表面節点(i)において、金型からの所定の距離 D_i に依存する重み W_i を求めるステップと、各接触表面節点(i)においてこの重み W_i を考慮に入れた金型押え圧力 P_i を計算するステップと、上記金型押え圧力 P_i を節点力 G_i に換算するステップを有し、上記節点力 G_i を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする板成形シミュレーション方法。

【請求項4】 板成形を有限要素法解析によりシミュレートする方法において、金型と各素材表面節点(i)との接触の有無を、各節点(i)が金型から所定の距離 D_0 内に存在するか否かにより判定するステップと、前のタイムステップにおける全接触面積 S_b と現在のタイムステップにおける全接触面積 S_f を外挿するステップと、この外挿された全接触面積 S_f と所定の押え力 F_0 とから平均しわ押え圧力($P_e = F_0/S_f$)を計算するステップと、上記平均押え圧力 P_e を金型と接触している各素材表面節点(i)で代表される接触面積 S_i を用いて節点力($G_i = P_e \times S_i$)に換算するステップを有し、上記節点力 G_i を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする板成形シミュレーション方法。

【請求項5】 金型と素材表面節点(i)との接触の有無の判定において、金型からの所定の距離 D_0 を、初期板

厚 t_0 に対して $0.005 t_0 \sim 0.015 t_0$ としたことを特徴とする請求項1～4いずれか記載の板成形シミュレーション方法。

【請求項6】 板成形を有限要素法解析によりシミュレートする方法において、現在のタイムステップにおける変形計算から、金型が素材から受ける反力 R を計算するステップと、その反力 R と所定の金型押え力 F_0 をもとに、次のタイムステップにおける金型の移動速度を変更するステップを有し、次のタイムステップでの金型が素材から受ける反力 R を制御することを特徴とする板成形シミュレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、板材の塑性変形過程を数値シミュレーションする方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 例えば、図21は多工程絞り加工の第1工程を、図22は続く第2工程を示したものであり、これらの図は、しわ押え金型4とダイ3とのクリアランス C_0 を一定とする方式で、有限要素法解析したものである。

【0003】 図20のフローチャートに有限要素解析手順を示す。現在のタイムステップの計算において、まずS110で剛性マトリックスの作成を行い、作成した剛性マトリックスを解き、節点速度を求める。次に、S120で節点速度からひずみ速度、ひずみ、応力、節点力等を順次求めていく。更に、S130で節点座標を次のタイムステップの計算に用いる節点座標に更新し、S140で境界条件の変更を行い、次のタイムステップの計算に移る。これら一連の計算を所定のストロークに達するまで繰り返す。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上記のように、しわ押え金型4とダイ3とのクリアランス C_0 を一定とする方式、即ちしわ押え金型に接する表面節点の変位を金型に沿う形で拘束する方式で有限要素法解析を行うと次のような2つの問題が生じる。

【0005】 第1の問題としては、図21に示すように、素材1の板厚 t が初期板厚 t_0 から増加することにより、しわ押えの効果が反映されるものの、素材1に加えられるしわ押え力 F はクリアランス C_0 の大きさに大きく依存し、成形中で一定とはならないことが挙げられる。すなわち、成形初期(図21(a))においては、板厚 t の増加が微小なため、素材1がしわ押え金型4へ加える反力 R 、つまり、しわ押え力 F は小さく、成形中期(図21(b))においては、板厚 t の増加により、しわ押え力 F は大きくなる。更に、成形終期(図21(c))においては、フランジ部の素材の減少により、再度、しわ押え力 F は小さくなる。このように、クリアランス C_0 を一定とする方式で有限要素法解析を行う場合、しわ

押え力 F が変動することは避けられない。しかしながら、実際の加工では、しわ押え力 F_0 は、油圧力、または、バネやウレタン等の弾性変形力に加えられ、一定若しくは一定の割合で増加する荷重である。従って、しわ押え金型4とダイ3とのクリアランス C_0 を一定と仮定して、有限要素法解析することは実際の現象に反することになり問題となる。

【0006】次に第2の問題としては、図22に示すように、しわ押え金型4とダイ3とのクリアランス C_0 を一定と仮定すると、第2工程の成形初期でしわ押え金型4と素材1とが離れしまい、しわ押えの効果が反映されない。しかし、実際の加工では、所定のしわ押え力 F_0 を成形中常に加えるため、解析が実際の現象に反することとなり問題となる。

【0007】この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、しわ押え力を考慮した板成形加工を有限要素法解析する板成形シミュレーション方法を得ることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の板成形を有限要素法解析によりシミュレートする方法は、図1のフローチャートに示すように、金型と各素材表面節点との接触の有無を判定するステップ210と、上記判定結果により金型と素材との接触領域を求め、この接触領域に加わる金型押え圧力を演算するステップ215と、上記金型押え圧力を金型と接触している各素材表面節点における節点力に換算するステップ240を有し、上記節点力を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする。

【0009】請求項2記載のシミュレーション方法は、金型と各素材表面節点(i)との接触の有無を、各節点(i)が金型から所定の距離 D_0 内に存在するか否かにより判定し、上記判定結果により金型と素材との全接触面積 S を求め、この接触面積 S と所定の押え力 F_0 とから平均押え圧力($P_e = F_0 / S$)を計算し、この平均押え圧力 P_e を金型と接触している各素材表面節点(i)で代表される接触面積 S_i を用いて節点力($G_i = P_e \times S_i$)に換算した後、この節点力 G_i を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする。

【0010】請求項3記載のシミュレーション方法は、金型と各素材表面節点(i)との接触の有無を、各節点(i)が金型から所定の距離 D_0 内に存在するか否かにより判定するステップと、上記判定結果により金型と素材との接触面積を求めるステップと、接触していると判定した各素材表面節点(i)において、金型からの所定の距離 D_i に依存する重み W_i を求めるステップと、この重み W_i と、接触している各素材表面節点(i)で代表される接触面積 S_i と、所定の押え力 F_0 を用いて、金型押え圧力の重み付き平均値($P_{we} = F_0 / (\sum W_i S_i)$)を求めるステップと、各接触表面節点(i)にお

る金型押え圧力($P_i = W_i P_{we}$)を計算するステップと、上記金型押え圧力 P_i を節点力 G_i に換算するステップを有し、上記節点力 G_i を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする。

【0011】請求項4記載のシミュレーション方法は、金型と各素材表面節点(i)との接触の有無を、各節点(i)が金型から所定の距離 D_0 内に存在するか否かにより判定するステップと、前のタイムステップにおける全接触面積 S_b と現在のタイムステップにおける全接触面積 S_f とから次のタイムステップにおける全接触面積 S_f を外挿するステップと、この外挿された全接触面積 S_f と所定の押え力 F_0 とから平均しわ押え圧力($P_e = F_0 / S_f$)を計算するステップと、上記平均押え圧力 P_e を金型と接触している各素材表面節点(i)で代表される接触面積 S_i を用いて節点力($G_i = P_e \times S_i$)に換算するステップを有し、上記節点力 G_i を次のタイムステップにおける解析の境界条件に用いることを特徴とする。

【0012】請求項5記載のシミュレーション方法は、金型と素材表面節点(i)との接触の有無の判定において、金型からの所定の距離 D_0 を、初期板厚 t_0 に対して $0.005 t_0 \sim 0.015 t_0$ としたことを特徴とする。

【0013】請求項6記載のシミュレーション方法は、現在のタイムステップにおける変形計算により金型が素材から受ける反力 R を計算するステップと、その反力 R と所定の金型押え力 F_0 をもとに、次のタイムステップにおける金型の移動速度を変更するステップを有し、次のタイムステップでの金型が素材から受ける反力 R を制御することを特徴とする板成形シミュレーション方法。

【0014】

【作用】請求項1記載のシミュレーション方法においては、金型と素材の接触領域に加わる金型押え圧力を求めて節点力という境界条件の形で与えることにより、金型押え圧力を考慮に入れた高精度の有限要素法解析を行うことができる。

【0015】請求項2記載のシミュレーション方法においては、金型と素材の接触判定及び平均押え圧力 P_e を簡単な計算により求めることができ、上記圧力 P_e を節点力という境界条件の形で与えることにより、金型押え圧力を考慮に入れた高精度の有限要素法解析を行うことができる。

【0016】請求項3記載のシミュレーション方法においては、金型からの所定の距離 D_i に依存する重み W_i を求め、この重み W_i を考慮に入れた金型押え圧力 P_i を計算し節点力に換算することにより、実際の加工状態に近い金型押え圧力を考慮することができ、高精度の有限要素法解析を行うことができる。

【0017】請求項4記載のシミュレーション方法においては、次のタイムステップの全接触面積 S_f を外挿し、これに基づいて節点力を換算するので、次のタイム

ステップにおける有限要素法解析が正確になされ、高精度のシミュレーションが可能となる。

【0018】また、金型からの所定の距離 D_0 を初期板厚 t_0 に対して $0.005 t_0 \sim 0.015 t_0$ とすることにより、接触判定が正確となり、実際の加工状態をより精度良く再現することができる。

【0019】請求項6記載のシミュレーション方法においては、金型が素材から受ける反力 R と所定の金型押え力 F_0 をもとに、次のタイムステップにおける金型の移動速を変更することにより、次のタイムステップでのしわ押え金型が素材から受ける反力 R を所定のしわ押え力 F_0 の許容値内 $(\pm \Delta F)$ に収めるように制御することができる。

【0020】

【実施例】

実施例1. 図2はこの発明の実施例1に係る板成形シミュレーションのフローチャートであり、図3は本実施例に使用する板成形シミュレーション装置のブロック図である。

【0021】本実施例の概要を図2及び図3に沿って説明すると、まず、データ入力部10より初期データ、境界条件等を入力し、現在のタイムステップの計算において、S110で剛性マトリックスの作成・求解(剛性マトリックス作成・求解部20)を、S120でひずみ、応力等の計算(ひずみ・応力等の計算部30)を、S130で節点座標の更新(節点座標の更新部50)を行う。次に、S210で金型と素材との接触判定(接触判定部60)を、S220で現在のタイムステップの金型と素材 *

*の全接触面積の計算(接触面積の計算部70)を、S230で平均しわ押え圧力の計算(平均押え圧力の計算部80)を、S240で節点力への換算(節点力への換算部90)を行う。最後に、S140で境界条件の変更(境界条件の変更部100)を行い、次のタイムステップの計算に移る。これら一連の計算を所定のストロークに達するまで繰り返し、シミュレートされた結果を出力部40より出力する。

【0022】本実施例の解析で用いる剛塑性FEMの定式は、小坂田、森らにより提案されたわずかに圧縮性を有する剛塑性体の構成式(圧縮特性法)を使用することとした。この方式は高速解析が可能になる利点がある。以下、これについて簡単に説明する(「塑性と加工」日本塑性加工学会誌、第34巻、第390号)。

【0023】上界定理によると、動的可容な速度場のうち、下記の数式1の汎関数を最小にするものが正解を与えるとされる。

【0024】

【数1】

$$\Phi = \int_V \left(\int \bar{\sigma} d\bar{\epsilon} \right) dV - \int_{S_f} \{u\}^T \{\bar{f}\} dS \dots (1)$$

$\{\bar{f}\}$: 面 S_f 上に作用する外力ベクトル

【0025】また、相当応力と相当塑性歪速度は下記の数式2のように表わされる。

【0026】

【数2】

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij} + g \sigma_m} \dots (2-1)$$

$$\dot{\bar{\epsilon}} = \sqrt{\frac{2}{3} \left(\dot{\epsilon}_{ij} - \frac{\delta_{ij}}{3} \dot{\epsilon}_v \right) \left(\dot{\epsilon}_{ij} - \frac{\delta_{ij}}{3} \dot{\epsilon}_v \right) + g \dot{\epsilon}_v^2} \dots (2-2)$$

$\bar{\sigma}$: 相当応力

$\dot{\bar{\epsilon}}$: 相当塑性歪速度

σ'_{ij} : 偏差応力

$\dot{\epsilon}_{ij}$: 偏差応力

σ_m : 静水圧応力成分

$\dot{\epsilon}_v$: 体積歪速度

g : 小さい正の定数(0.01~0.001)

【0027】応力と歪速度の関係は下記の数式3のよう ※【0028】
に表わされる。 ※ 【数3】

$$\sigma_{ij} = \frac{\bar{\sigma}}{\dot{\bar{\epsilon}}} \left\{ \frac{2}{3} \dot{\epsilon}_{ij} + \delta_{ij} \left(\frac{1}{g} - \frac{2}{3} \right) \dot{\epsilon}_v \right\} \dots (3)$$

δ_{ij} : クロネッカーのデルタ

【0029】これらの式を有限要素法の手法を用いて離 50 散化する。変位速度ベクトルと歪速度ベクトルは節点速

7

度ベクトルを用いて、下記の数式4のように表わす。

【0030】

【数4】

$$\left. \begin{aligned} \text{変位速度ベクトル: } \{ \dot{u} \} &= [N] \{ U \} \\ \text{歪速度ベクトル: } \{ \dot{\epsilon} \} &= [B] \{ U \} \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

(U) : 節点変位速度ベクトル

[N] : 形状関数

[B] : 歪-変位マトリックス

* 10

$$[K] \{ U \} - \{ \bar{F} \} = \{ 0 \} \dots (5)$$

$$\text{ここで、剛性マトリックス } [K] = \int_V [B]^T [D] [B] dV$$

$$[D] = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\epsilon}} \left\{ \begin{array}{cccccc} 2/3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2/3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2/3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3 \end{array} \right\} + \left(\frac{1}{g} - \frac{2}{9} \right) \left\{ \begin{array}{cccccc} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right\}$$

$$\{ \bar{F} \} = \int_{S_f} [N]^T \{ \bar{f} \} dS$$

【0033】上記数式5は仮想仕事の原理から導かれる節点力の釣り合い方程式に等価である。

【0034】次に、図8によりS210～S250の解析処理を詳細に説明する。まず、図8(a)に示すように、しわ押え金型4と各素材表面節点(i)の距離Diを算出し、この距離Diと予め設定された所定の距離Doと比較することにより、素材表面節点(i)としわ押え金型4の接触の有無を判断する。即ち、距離Di ≤ Doなら接触、Di > Doなら非接触と判定する。そして、しわ押え金型4と素材1との接触領域Aを確定する。

【0035】次に、上記確定された接触領域Aから、しわ押え金型4と素材1との全接触面積Sを求め、所定のしわ押え力Foから平均しわ押え圧力(Pe = Fo/S)を計算する(図8(b))。更に、しわ押え金型4と接触している各素材表面節点(i)において、その節点で代表される接触面積Si、例えばその素材表面節点(i)を共有する要素の表面積の平均値を用いて、平均しわ押え圧力Peを節点力Gi = Pe × Siに換算する。最後に、それらをS120のひずみ・応力等の計算ステップで求められた各素材表面節点(i)の節点力に追加し、各素材表面節点(i)の次のタイムステップにおける境界条件として用いる。

* 【0031】上記数式(2-1)、数式4を数式1に代入し、さらにΦの変分を{0}とおくと、解くべき方程式は下記の数式5になる。

【0032】

【数5】

30

【0036】実施例2。図4はこの発明の実施例2に係る板成形シミュレーションのフローチャートであり、図5は本実施例に使用される板成形シミュレーション装置のブロック図である。

40

【0037】本実施例の概要を図4及び図5に沿って説明すると、まず、データ入力部10より初期データ、境界条件等を入力し、現在のタイムステップの計算において、S110で剛性マトリックスの作成・求解(剛性マトリックス作成・求解部20)を、S120でひずみ・応力等の計算(ひずみ・応力等の計算部30)を、S130で節点座標の更新(節点座標の更新部50)を行う。次に、S210で金型と素材との接触判定(接触判定部60)を、S220で現在のタイムステップの金型と素材の全接触面積の計算(接触面積の計算部70)を行う。その後、押え圧力の計算部85において、重みの計算(S310)、しわ押え圧力の重み付き平均値の計算(S320)、しわ押え圧力Pi(S330)の計算を行う。そして、このしわ押え圧力Piに基づいてS240で節点力への換算(節点力への換算部90)を行う。最後に、S140で境界条件の変更(境界条件の変更部100)を行い、次のタイムステップの計算に移る。これら一連の計算を所定のストロークに達するまで繰り返すことによ

50

り、しわ押え圧力 P_i に分布を与えることを特徴とする。

【0038】次に、図9によりS310～330の解析処理を詳細に説明する。まず、S310の重みの計算においては、接触判定(S210)によりしわ押え金型4と接触していると判定された各素材表面節点(i)において、しわ押え金型からの所定の距離 D_0 に依存する係数を計算する。例えば、しわ押え金型4から各素材表面節点(i)までの距離 D_i に対して、次式(6)に示すような $D_i = 0$ の時は1、 $D_i = D_0$ の時は0となるような1

$$W_i = (D_0 - D_i) / D_0 \quad \dots (6)$$

【0039】このようにして求められた係数を重み W_i として、S320において、しわ押え金型4に接触する全素材表面節点(i)で、しわ押え圧力の重み付き平均値 $\{P_{we} = F_0 / (\sum W_i S_i)\}$ を求める。そして、S330にて、重み付き平均値 P_{we} と重み W_i とから各接触表面節点(i)におけるしわ押え圧力 $\{P_i = W_i P_e\}$ を計算する。その結果、図9に示すようにしわ押え金型からの距離 D_i に応じた、しわ押え圧力の分布を与えることができる。

【0040】実施例3. 図6はこの発明の実施例3に係る板成形シミュレーションのフローチャートであり、図7は本実施例に使用される板成形シミュレーション装置のブロック図である。

【0041】本実施例では、現在のタイムステップの計算において、S210にて金型と素材との接触判定を行った後、S220にて現在のタイムステップの全接触面積の計算(接触面積の計算部70)を行う。そして、S410にて次のタイムステップの全接触面積の外挿(接触面積の外挿部75)を行い、S420で平均しわ押え圧力の計算(平均しわ押え圧力の計算部80)を行うことを特徴とする。

【0042】本実施例のS410及びS420の解析処理の詳細を説明する。まず、S220で求めた現在のタイムステップにおけるしわ押え金型4と素材1の全接触面積 S と、前のタイムステップにおける全接触面積 S_b とを用いて、次のタイムステップにおける全接触面積 S_f を外挿して求める。例えば、図10に示すように、 S_f を S_b と S により線形的に外挿することにより求める。次に、S420で現在のタイムステップの全接触面積 S の代わりに外挿された次のタイムステップの全接触面積 S_f を用いて、平均しわ押え圧力 $\{P_e = F_0 / S_f\}$ を計算する。

【0043】そして、上記平均しわ押え圧力 P_e を用いてS240にて節点力への換算を行う。最後に、S140で境界条件の変更を行い、次のタイムステップの計算に移る。これら一連の計算を所定のストロークに達するまで繰り返す。

【0044】実施例4. 更に、上記実施例1～3にお

るしわ押え金型4と素材表面節点(i)との接触の有無の判定(S210)において、しわ押え金型からの所定の距離 D_0 を素材1の初期板厚 t_0 に対して $0.005 t_0$ から $0.015 t_0$ の値に定める。その結果、実際の加工をより精度よく再現することができる。

【0045】実施例5. 図11はこの発明の実施例5に係る板成形シミュレーションのフローチャートを示す。本実施例は、現在のタイムステップにおける、しわ押え金型4が素材1から受ける反力と所定のしわ押え力との差をもとに、次のタイムステップにおけるしわ押え金型の移動速度を修正し、反力を制御しようとするものである。即ち、現在のタイムステップの計算にて、まず、S500でしわ押え金型4の初期移動速度の設定を行う。そして、S110で剛性マトリックスの作成・求解を、S120でひずみ、応力等の計算を、S130で節点座標の更新を行う。次に、S510で反力の計算を、S520でしわ押え金型移動速度の変更を行う。最後に、S140で境界条件の変更を行い、次のタイムステップの計算に移る。これら一連の計算を所定のストロークに達するまで繰り返す。

【0046】図12にS510及びS520の解析処理の詳細を説明する。まず、しわ押え金型4に接触している各素材表面節点(i)のひずみ・応力等の計算(S120)で求められた節点力から、しわ押え金型4が素材1から受ける反力 R を計算する。次に、その反力 R と所定のしわ押え力 F_0 との差をもとに、次のタイムステップにおけるしわ押え金型の移動速度を変更する。しわ押え金型の移動速度を変更することにより、次のタイムステップでのしわ押え金型が素材から受ける反力 R 、即ち、実際に素材に加えられたしわ押え力 F を所定のしわ押え力 (F_0) の許容値内 ($\pm \Delta F$) に収めるように制御する。

【0047】実験例1. ブランク径120mm、板厚1.0mmの円板状の素材(SPCC)の円筒深絞り加工を、前記実施例2又は4の手法を用いて有限要素法解析した。しわ押え金型からの所定の距離 D_0 を0.01mm、所定のしわ押え力 F_0 を1000kgfとし、節点の重み W_i については、次の1次関数、
 $W_i = (D_0 - D_i) / D_0$

を用いて計算し、摩擦係数は、パンチ肩R部及びダイ肩R部を $\mu = 0.23$ 、その他の部位を $\mu = 0.10$ とした。対称性を考慮して1/2モデルとし、全要素数を1000とした。材料定数は、SPCC材相当の $\sigma = 57.2 \varepsilon^{0.23}$ を用いた。
 【0048】有限要素法解析による素材の変形の様子を図13に示す。図13(a)は成形初期の様子を、図13(b)は成形中期の様子を、図13(c)は成形終期の様子を示す。成形中期において、パンチ肩R部でひけが発生し、成形終期でその部分で破断に到る様子がシミュレートできた。

【0049】更に、ブランク径及びしわ押え力 F_0 を変化させて、同様な円筒深絞り加工の有限要素法解析を複数例行った。その解析結果をまとめたのが図14である。図15に解析結果と実験結果との比較を示す。解析結果は実験結果と良く一致した。したがって、しわ押え力 F_0 を考慮する方式で、しわ押え金型を用いた板成形加工を十分な精度で有限要素法解析でき、ひけや破断といった成形不良の予測に有効に利用できることが分かった。

【0050】また、図16にしわ押え金型からの所定の距離 D_0 を0.005mmから0.015mmと変化させた場合の解析結果と実験結果の比較を示す。これより、しわ押え金型からの所定の距離 D_0 を上記範囲内(0.005 $t_0 \leq D_0 \leq 0.015t_0$; 初期の板厚 t_0)に設定することで、実験結果と良く一致した解析結果が得られることが分かった。

【0051】実験例2. ブランク径96mm、板厚1.5mmの円板状の素材(SPCCを想定)の多工程絞り加工を、前記実施例2又は4の手法を用いて有限要素法解析した。所定のしわ押え力 F_0 を第1工程では2000Kgf、第2工程では1500Kgfとし、しわ押え金型から所定の距離 D_0 を0.015mmとし、重み W_i は、次の1次関数、

$$W_i = (D_0 - D_i) / D_0$$

を用いて計算し、摩擦係数は、パンチR部及びダイR部を $\mu = 0.23$ 、その他の部位を $\mu = 0.10$ とした。対称性を考慮して1/2モデルとし、全要素数を500とした。材料定数は、SPCC材相当の $\sigma = 57.2 \epsilon^{0.23}$ を用いた。第1工程の解析結果の素材の変形の様子を図17に、第2工程の解析結果を図18に示す。従来のクリアランス C_0 を一定する方式で有限要素法解析した解析結果(図21及び図22参照)と比較すると、素材の変形に伴ってしわ押え金型が移動しており、実際の加工現象を再現可能であることが分かった。

【0052】実験例3. ブランク径120mm、板厚1.0mmの円板状の素材(SPCC)の円筒深絞り加工を、前記実施例3の手法を用いて、有限要素法解析した。しわ押え金型からの所定の距離 D_0 を0.01mm、所定のしわ押え力 F_0 を1000Kgfとし、重み W_i については、次の1次関数、

$$W_i = (D_0 - D_i) / D_0$$

を用いて計算し、摩擦係数は、パンチ肩R部及びダイ肩R部を $\mu = 0.23$ 、その他の部位を $\mu = 0.10$ とした。対称性を考慮して1/2モデルとし、全要素数を1000とした。材料定数は、SPCC材相当の $\sigma = 57.2 \epsilon^{0.23}$ を用いた。ブランク径及びしわ押え力 F_0 を変化させて、同様な円筒深絞り加工の有限要素法解析を複数例行った。図19に解析結果と実験結果との比較を示す。解析結果は、実験例1(図15)の解析結果より実験結果と良く一致し、外挿された次のタイムステップ

の全接触面積(S_f)を用いると、より高精度に有限要素法解析できることが分かった。

【0053】実験例4. 実施例5において、しわ押え金型の現在のタイムステップでの移動速度を V 、次のタイムステップの移動速度を V_f 、 K を定数として、次式に示す1次関数

$$V_f = V - K(F_0 - R)$$

を用いて、しわ押え金型の移動速度を変更すると、次のタイムステップでのしわ押え金型が素材から受ける反力 R を所定のしわ押え力 F_0 の許容値内($\pm \Delta F$)に収めるように制御することができた。

【0054】

【発明の効果】以上のように請求項1の発明によれば、素材との接触領域に加わる金型押え圧力を求め、この押え圧力を節点力という境界条件の形で与えることにより、高精度の有限要素法解析ができるとともに、実際の加工変形過程に近い現象を予測できる。また、上記解析結果はひけや破断といった成形不良の予測に有効利用され、試行錯誤を経ずして最適の加工条件を設定することが可能となる。更に、金型のコスト低減及び製作期間の短縮も図れる。

【0055】請求項2の発明によれば、請求項1の発明の効果に加えて、金型と素材の接触判定、及び平均押え圧力 P_e を簡単な計算により求めることができ、より高精度の有限要素法解析を行うことができる。

【0056】請求項3記載の発明によれば、請求項1の発明の効果に加えて、金型からの所定の距離 D_i に依存する重み W_i を求め、この重み W_i を考慮に入れた金型押え圧力 P_i を計算し節点力に換算することにより、実際の加工現象に近い金型押え圧力を考慮に入れた高精度の有限要素法解析を行うことができる。

【0057】請求項4記載の発明によれば、請求項1記載の効果に加えて、次のタイムステップの全接触面積 S_f を外挿しこれに基づいて節点力を換算するので、次のタイムステップにおける有限要素法解析が正確になれば、高精度のシミュレーションが可能となる。

【0058】また、金型からの所定の距離 D_0 を初期板厚 t_0 に対して0.005 $t_0 \sim 0.015t_0$ とすることにより、接触判定が正確となり、実際の加工状態をより精度良く再現することができる。

【0059】請求項6記載の発明によれば、金型が素材から受ける反力 R と所定の金型押え力 F_0 をもとに、次のタイムステップにおける金型の移動速を変更することにより、次のタイムステップでのしわ押え金型が素材から受ける反力 R を所定のしわ押え力 F_0 の許容値内($\pm \Delta F$)に収めるように制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1記載の板成形シミュレーション方法の発明を説明するためのフローチャートである。

【図2】実施例1に係る板成形シミュレーション方法の

フローチャートである。

【図 3】実施例 1 に使用する板成形シミュレーション装置のブロック図である。

【図 4】実施例 2 に係る板成形シミュレーション方法のフローチャートである。

【図 5】実施例 2 に使用する板成形シミュレーション装置のブロック図である。

【図 6】実施例 3 に係る板成形シミュレーション方法のフローチャートである。

【図 7】実施例 3 に使用する板成形シミュレーション装置のブロック図である。

【図 8】実施例 1 における平均しわ押え圧力計算方法を示す概念図である。

【図 9】実施例 2 におけるしわ押え圧力計算方法を示す概念図である。

【図 10】実施例 3 における全接触面積の外挿方法を示す概念図である。

【図 11】実施例 5 に係る板成形シミュレーション方法のフローチャートである。

【図 12】実施例 5 におけるしわ押え金型の移動速度の制御方法の概念図である。

【図 13】実験例 1 による円筒深絞り加工の有限要素法解析結果を示す図である。

【図 14】実験例 1 における解析結果のブランク径としわ押え力の関係を示すグラフである。

【図 15】実験例 1 におけるブランク径としわ押え力の関係の解析結果と実際の実験結果との比較を示すグラフである。

【図 16】実験例 1 におけるしわ押え金型からの所定の距離 D_0 を変化した場合のブランク径としわ押え力の関係の解析結果と実際の実験結果との比較を示すグラフで

ある。

【図 17】実験例 2 による絞り加工第 1 工程の解析結果を示す図である。

【図 18】実験例 2 による絞り加工第 2 工程の解析結果を示す図である。

【図 19】実験例 3 におけるブランク径としわ押え力の関係の解析結果と実際の実験結果との比較を示すグラフである。

【図 20】従来の板成形シミュレーション方法を示すフローチャートである。

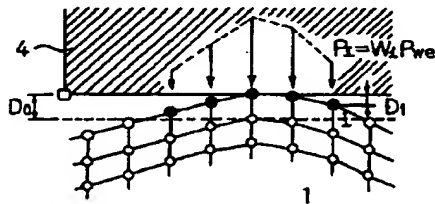
【図 21】従来のシミュレーション方法による多工程絞り加工の第 1 工程の解析結果を示す図である。

【図 22】従来のシミュレーション方法による多工程絞り加工の第 2 工程の解析結果を示す図である。

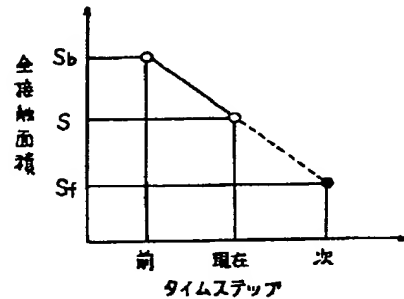
【符号の説明】

- | | |
|------------|----------------------|
| 1 | 素材 |
| 2 | パンチ |
| 3 | ダイ |
| 4 | しわ押え金型 |
| A | しわ押え金型と素材の接触領域 |
| D_0 | しわ押え金型からの所定距離 |
| F | しわ押え力 |
| F_0 | 所定のしわ押え力 |
| ΔF | しわ押え力の許容値 |
| P_e | 平均しわ押え圧力 |
| P_{we} | 重み付き平均しわ押え圧力 |
| (i) | 素材表面節点番号 |
| S_i | 節点で代表される接触面積 |
| D_i | しわ押え金型から接触節点(i)までの距離 |
| P_i | しわ押え圧力 |
| W_i | 重み |

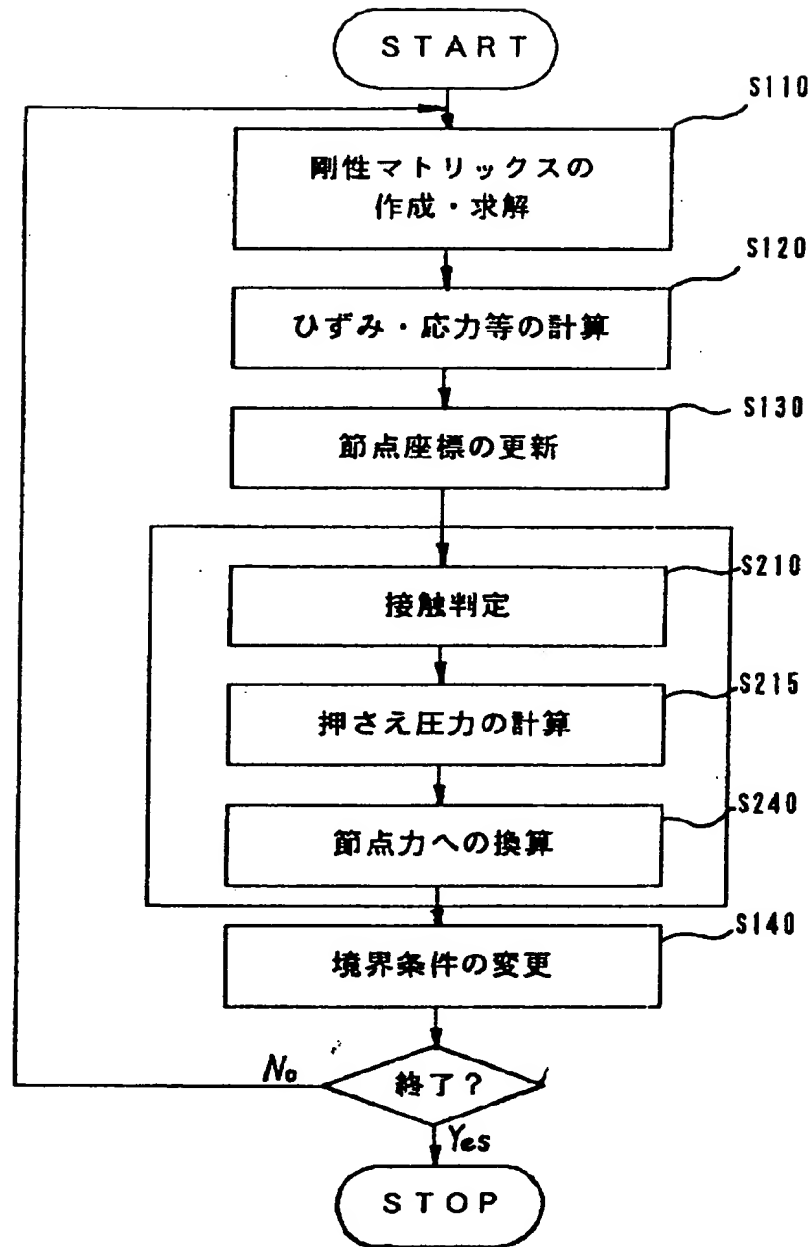
【図 9】



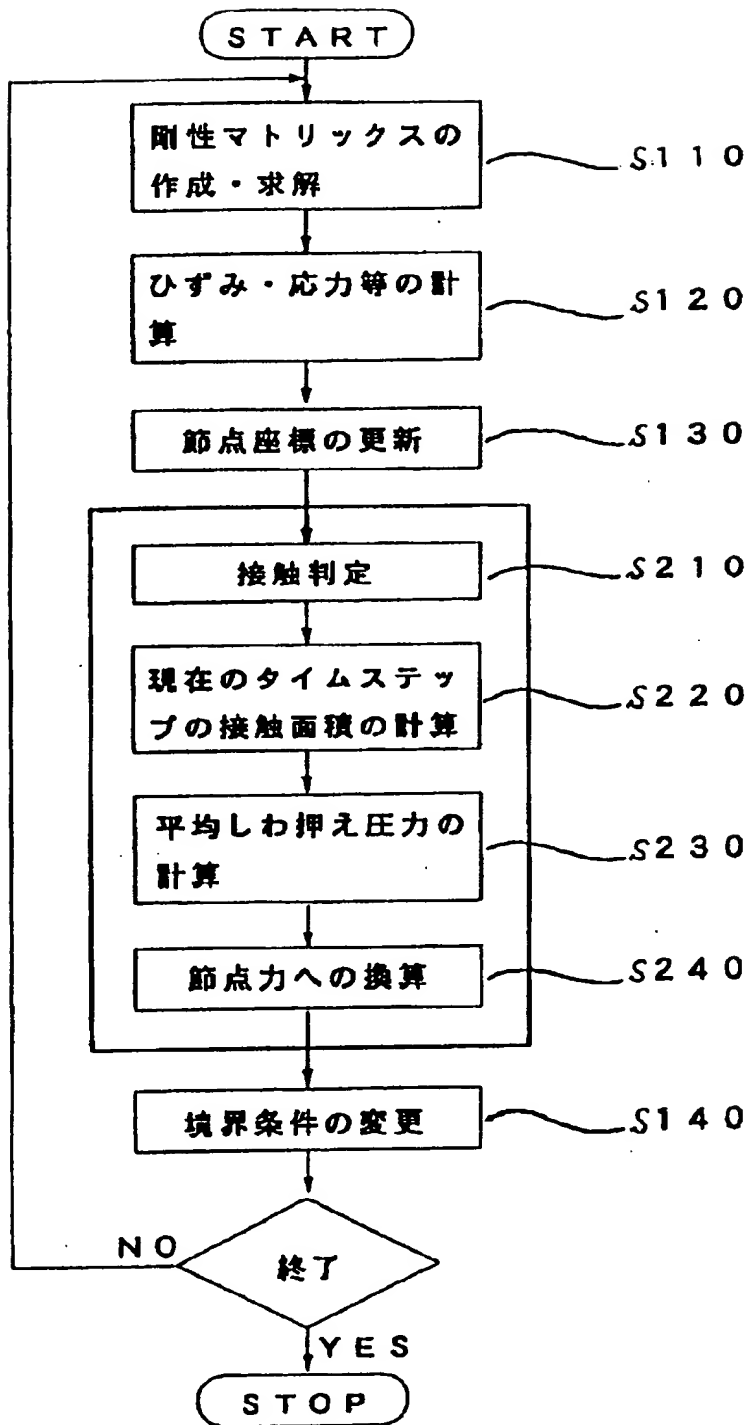
【図 10】



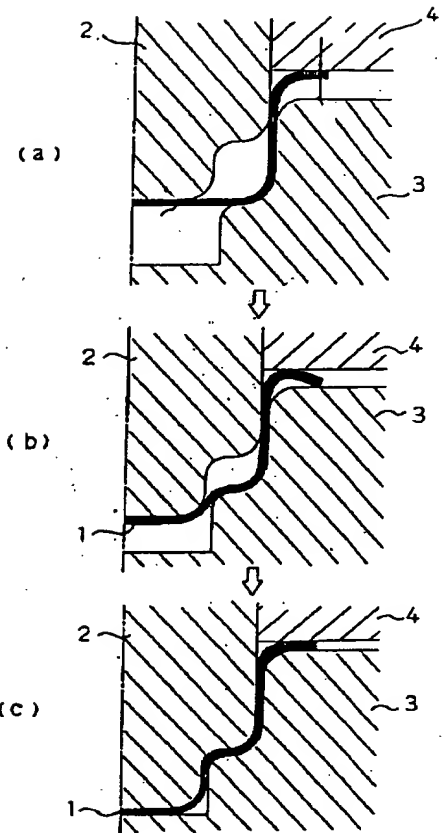
【図1】



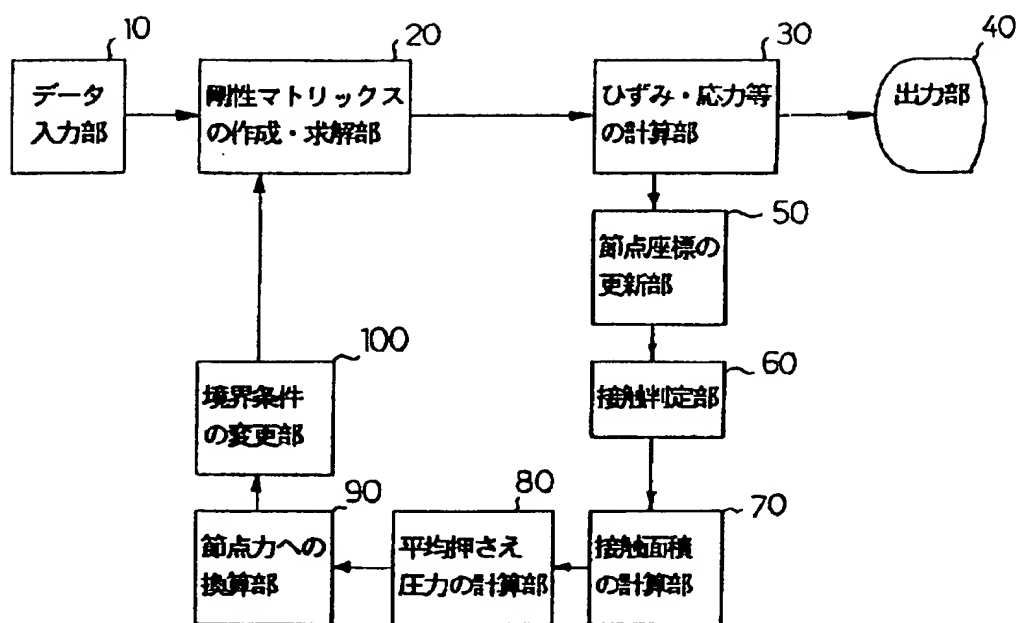
【図2】



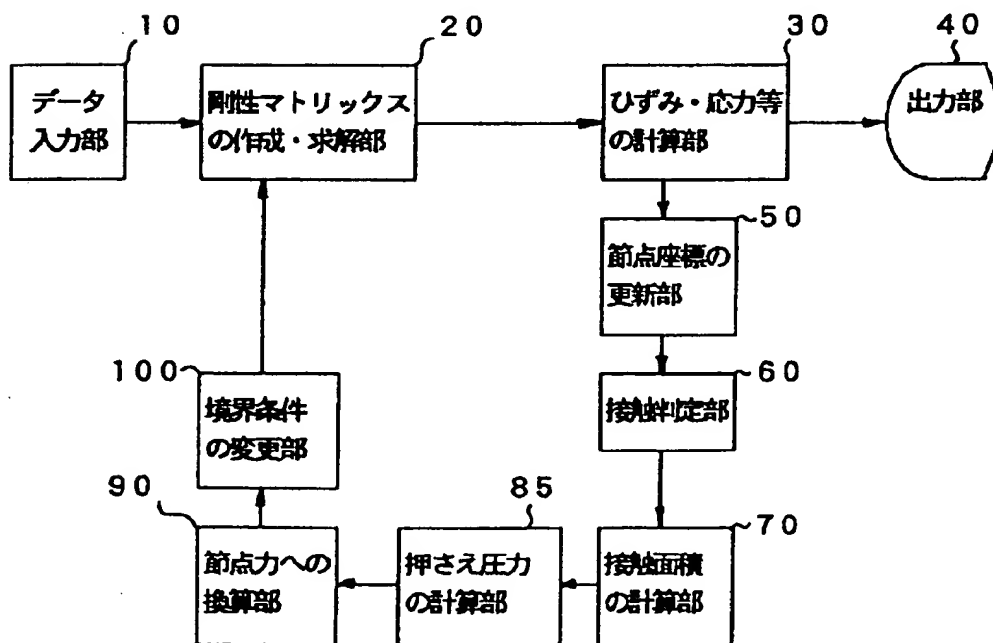
【図18】



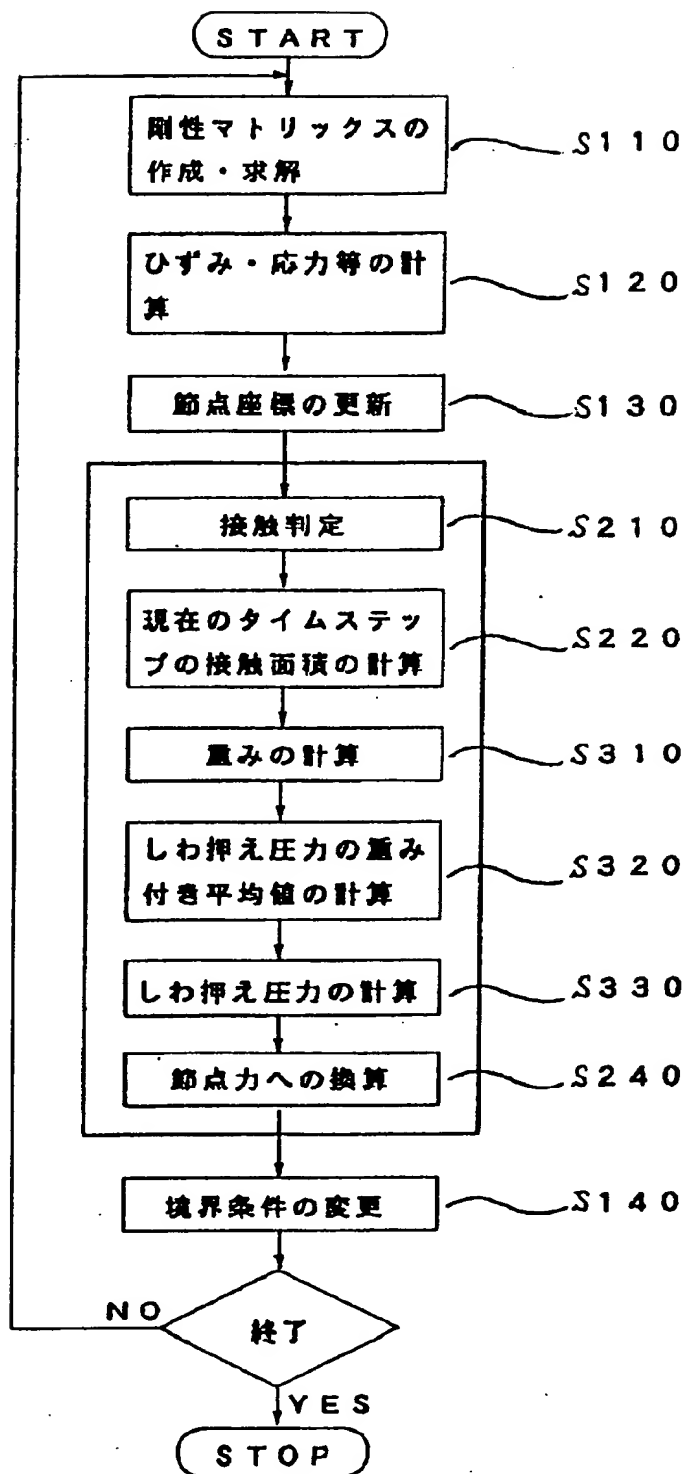
【図 3】



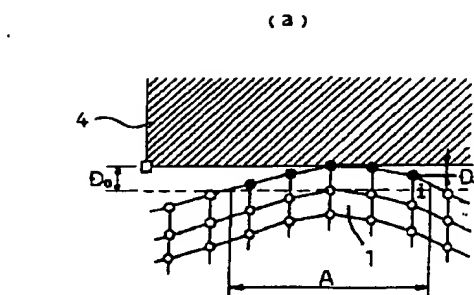
【図 5】



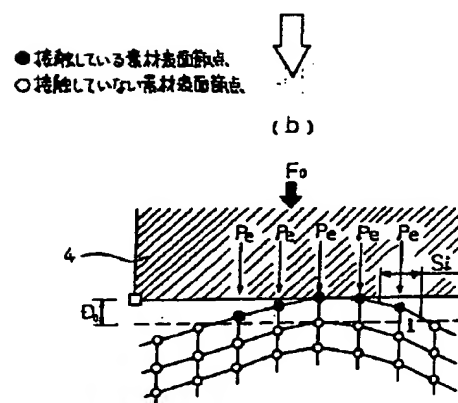
【図 4】



【図 8】

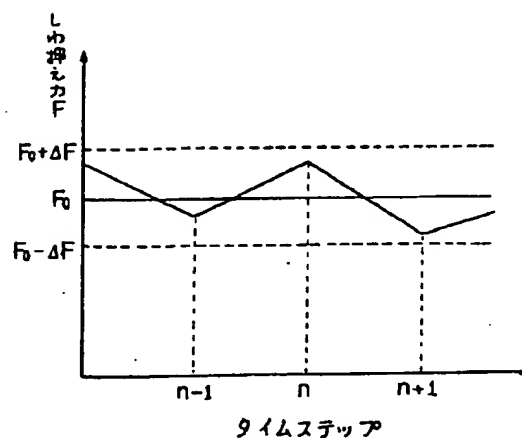


(a)

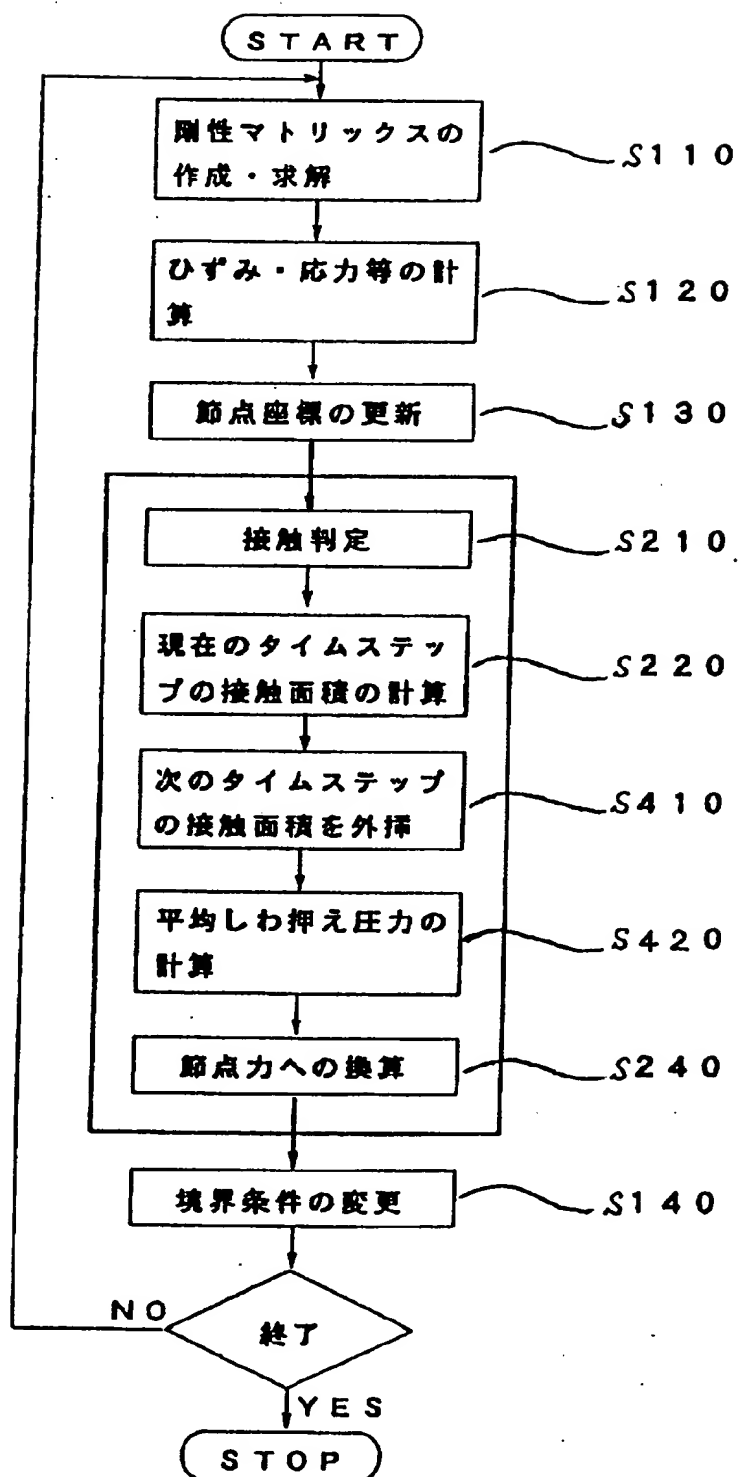


(b)

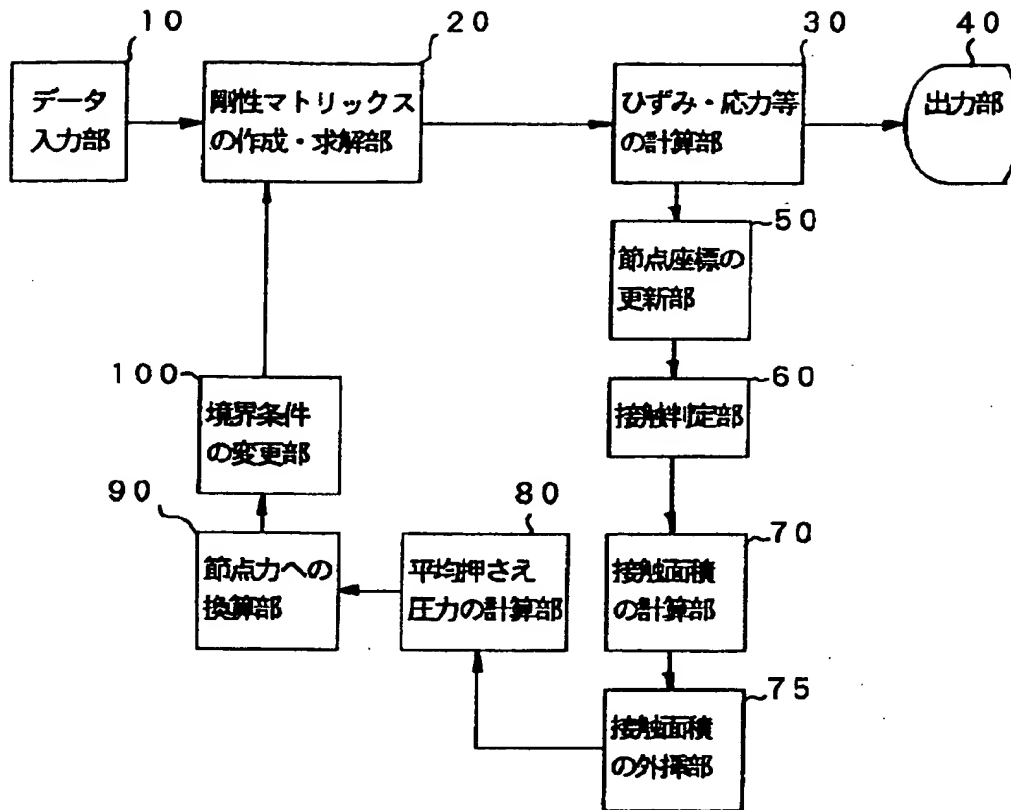
【図 12】



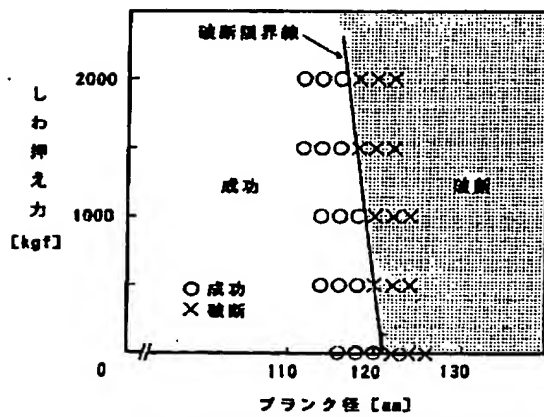
【図6】



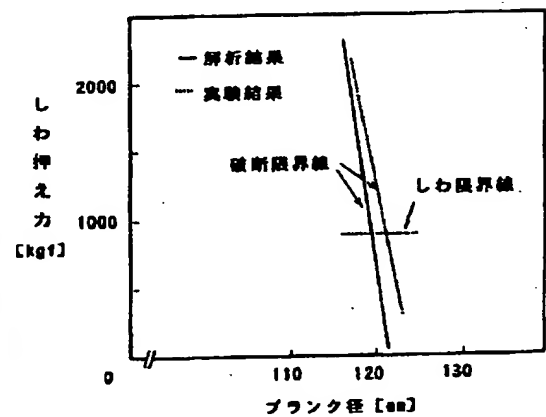
【図 7】



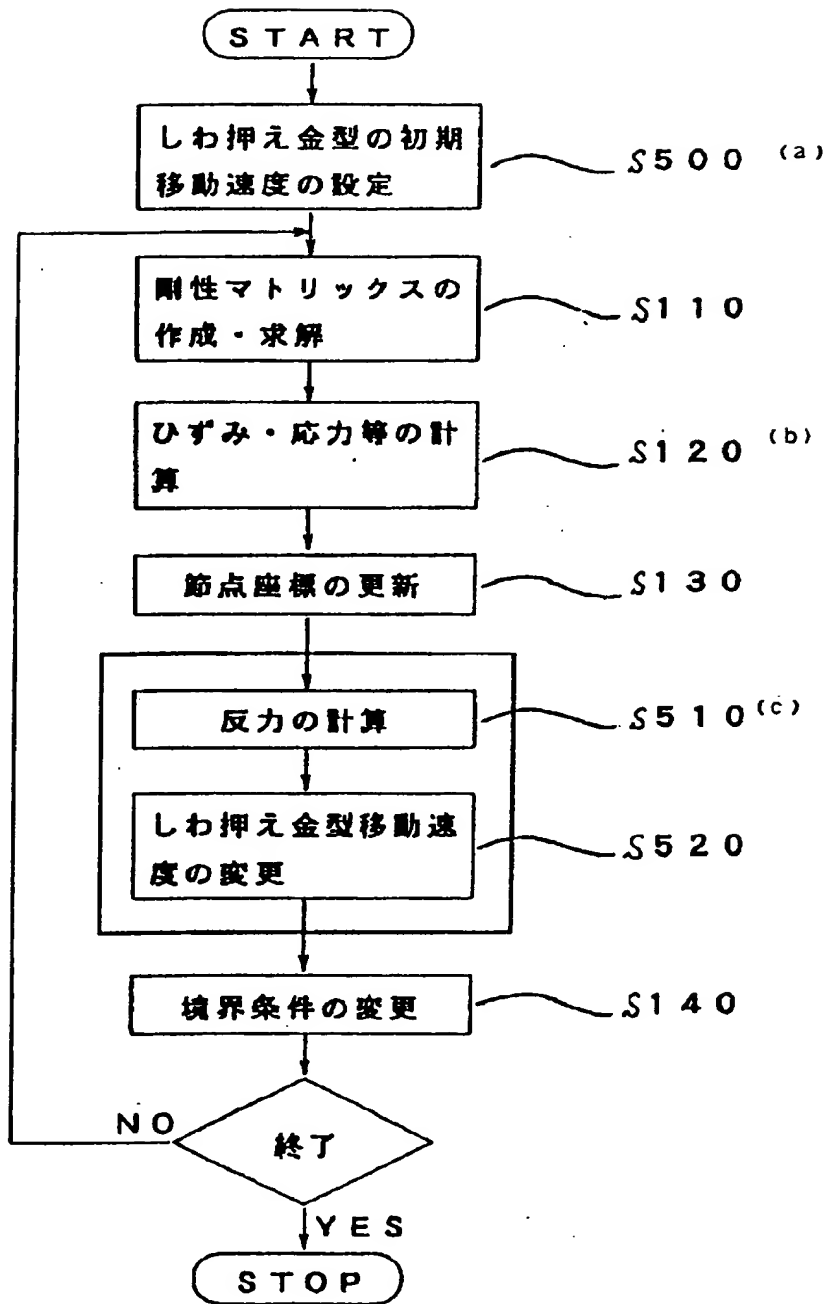
【図 14】



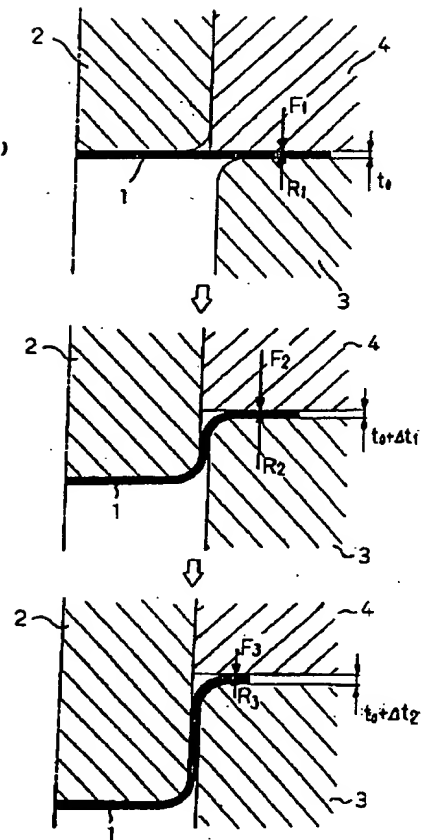
【図 15】



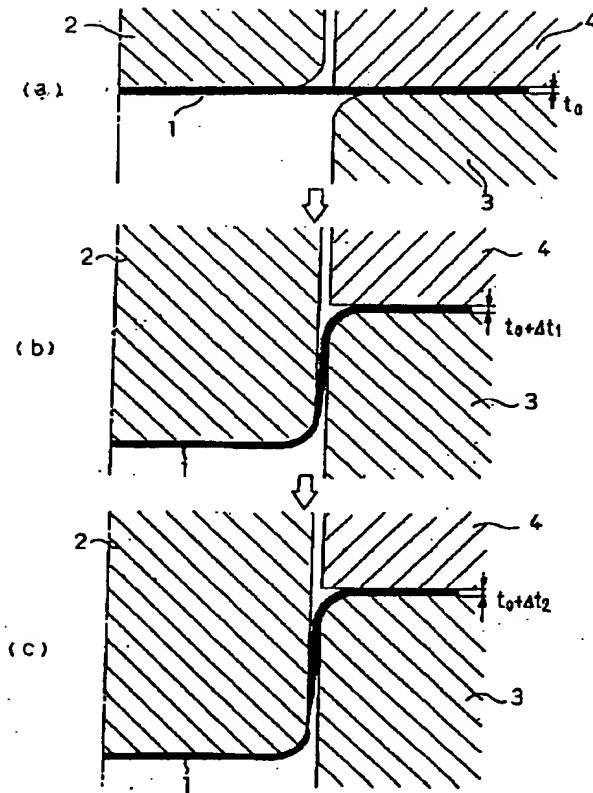
【図11】



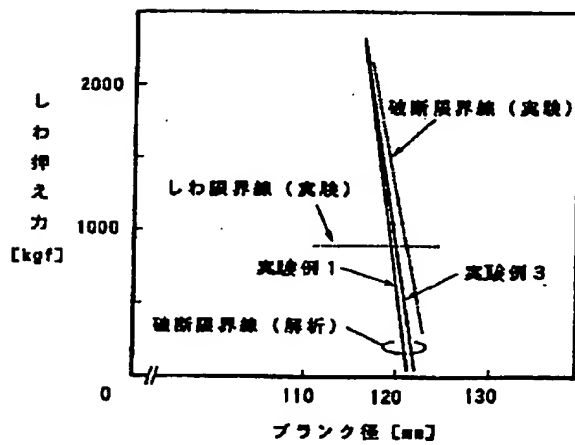
【図17】



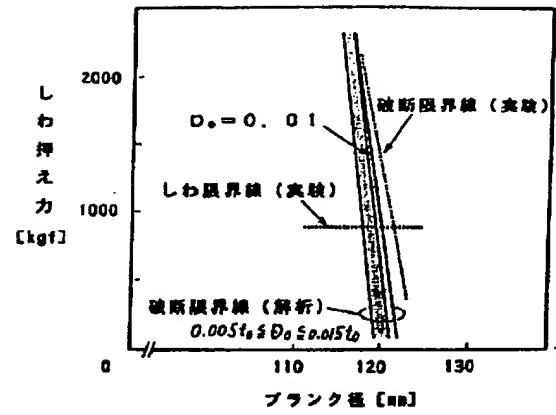
【図13】



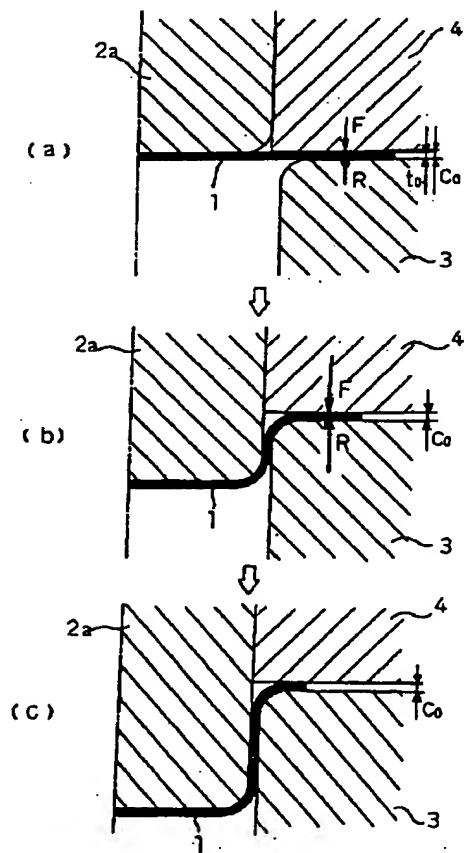
【図19】



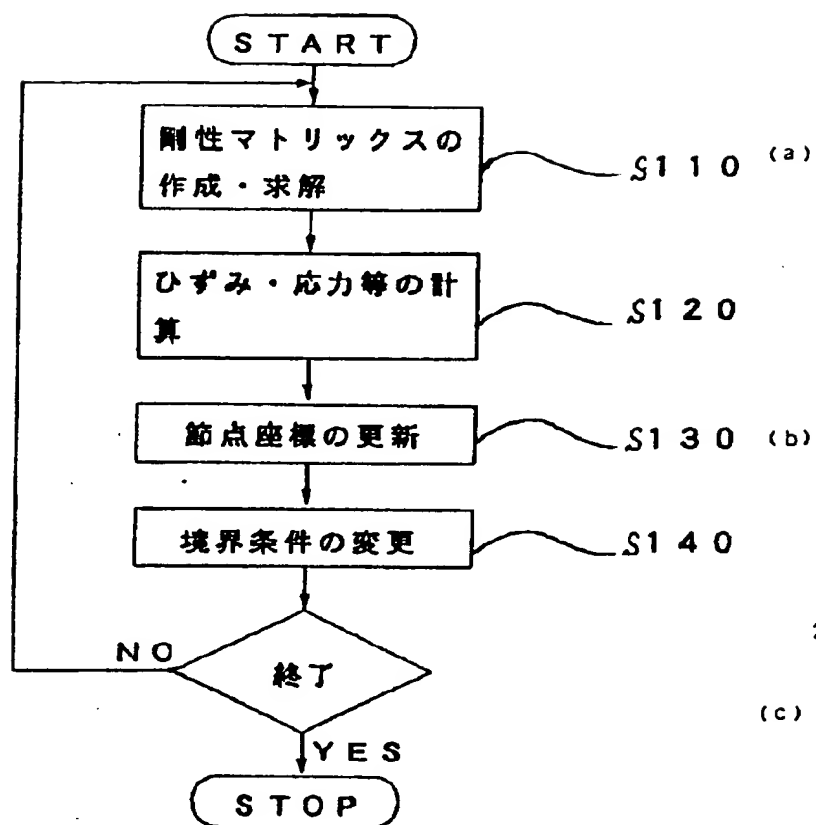
【図16】



【図21】



【図 20】



【図 22】

